Chapitre 5:
LES PRINCIPES DE LA THERMODYNAMIQUE ET LES SYSTÈMES OUVERTS

On étudie par exemple un fluide en écoulement. On raisonne par commodité sur l'unité de masse de fluide.
Les grandeurs extensives massiques sont notées par des lettres minuscules :

- énergie interne massique : u ;
- enthalpie massique : h ;
- énergie cinétique massique : ec ;
- énergie potentielle massique : ep ;
- volume massique : v (inverse de la masse volumique) ;
- entropie massique : s

Les grandeurs caractérisant le fluide en amont du volume V appelé volume de contrôle ont un indice 1, celles caractérisant le fluide en aval ont un indice 2.

Le volume de contrôle V entre les instants t et t + dt reçoit le travail élémentaire dW et la chaleur élémentaire dQ, une masse élémentaire dm1, en amont pendant que sort une masse élémentaire dm2, en aval. Le milieu extérieur au volume de contrôle est supposé être une source de chaleur qui fixe la température de la surface entourant le volume de contrôle à TS.
On choisit comme système la masse de fluide contenue à l'instant t dans le volume de contrôle V.

1. PREMIER PRINCIPE ET SYSTÈME OUVERT

1) Transfert entre deux instants t et t + dt :
sous forme de chaleur : dQ ;
sous forme de travail :
- travail élémentaire des forces de pression en amont : $p_1 v_1 dm_1$
- travail élémentaire des forces de pression en aval : $- p_2 v_2 dm_2$
- travail élémentaire dW,
sous forme de matière :
- en amont $dE_1 = dm_1 (ec_1 + eP_1 + u_1)$
- en aval $dE_2 = - dm_2 (ec_2 + ep_2 + u_2)$

2) Bilan énergétique pour le volume de contrôle :

$$dE(V) = dW + dQ + p_1 v_1 dm_1 - p_2 v_2 dm_2 + dm_1 (ec_1 + eP_1 + u_1) - dm_2 (ec_2 + ep_2 + u_2)$$

En introduisant l'enthalpie massique h :
$$dE(V) = dW + dQ + dm_1 (ec_1 + eP_1 + h_1) - dm_2 (ec_2 + ep_2 + h_2)$$
En régime permanent la masse et l'énergie du volume de contrôle sont constantes :
$$dm_1 = dm_2 = dm \text{ et } dE(V) = 0$$
On appelle $w = dW/ dm$ le travail par unité de masse et $q = dQ/ dm$ la chaleur par unité de masse.

Le premier principe de la thermodynamique pour l'unité de masse d'un fluide en écoulement permanent s'écrit :
$$DEc + Dep + Dh = w + q$$

2. SECOND PRINCIPE ET SYSTÈME OUVERT

1° Transfert d'entropie entre deux instants t et dt :
sous forme de chaleur dQ/T_s
sous forme de matière :

- en amont : $+ dm_1 s_1$
- en aval : $- dm_2 s_2$

2° Production d'entropie entre deux instants t et t + dt :

$$dS_p$$

3° Bilan entropique pour le volume de contrôle :

$$dS(V) = dQ / T_s + dm_1 s_1 - dm_2 s_2 + dS_p$$

En régime permanent la masse et l'entropie du volume de contrôle sont constantes :

$$dm_1 = dm_2 = dm \text{ et } dS(V) = 0.$$

On appelle $s_p = dS_p / dm$ l'entropie produite par unité de masse.

Le second principe de la thermodynamique pour l'unité de masse d'un fluide en écoulement permanent s'écrit :

$$DS = q / T_s + s_p$$

3. APPLICATIONS

Tuyère adiabatique avec variation d'énergie potentielle négligeable :

$$De_c + Dh = 0$$
$$Ds = s_p > 0$$

Turbine ou compresseur adiabatique avec variations d'énergie cinétique et Potentielle négligeables :

$$Dh = w$$
$$D s = s_p > 0$$

Détente de Joule Thomson : détente adiabatique avec variations d'énergie Cinétique et potentielle négligeables :

$$D h = 0$$
$$D s = s_p > 0$$

La détente de Joule Thomson est une détente isenthalpique